

Komplexe soziale Systeme, Emergenz und Selbstähnlichkeit: Zum neuen Paradigma der Komplexitätstheorie

Lietz, Haiko

Preprint / Preprint

Konferenzbeitrag / conference paper

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Lietz, H. (2008). *Komplexe soziale Systeme, Emergenz und Selbstähnlichkeit: Zum neuen Paradigma der Komplexitätstheorie..* <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-62887-7>

Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer CC BY-NC-ND Lizenz (Namensnennung-Nicht-kommerziell-Keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Nähere Auskünfte zu den CC-Lizenzen finden Sie hier:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/deed.de>

Terms of use:

This document is made available under a CC BY-NC-ND Licence (Attribution-Non Commercial-NoDerivatives). For more information see:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0>

Komplexe soziale Systeme, Emergenz und Selbstähnlichkeit: Zum neuen Paradigma der Komplexitätstheorie

Haiko Lietz

Newly won evidence shows that many real-world network systems obey a power-law scaling, just as if they were fractal shapes. Could this be the harbinger of a new architectural law for complex systems? (Strogatz 2005: 365)

Einführung und Inhalt

Viele Leute dürften im Urlaub schon einmal einen Fremden kennengelernt und herausgefunden haben, dass man einen gemeinsamen Bekannten hat. Die Welt ist klein, sagt man dann. Und dass die Reichen immer reicher werden, steht immer wieder in der Zeitung, wenn Vermögensstatistiken vorgestellt werden. Beides ist seit langem Gegenstand sozialwissenschaftlichen Interesses. Milgram (1967) hatte experimentell ermittelt, dass zufällig ausgewählte Personen in Omaha und Boston einen ihnen unbekannten Börsenmakler ebenfalls in Boston mit durchschnittlich sechs weitergeleiteten Briefen erreichten, und damit die *Kleine Welt*-Forschungsrichtung innerhalb der Soziologie begründet (Kochen 1989). Merton (1968) hatte den Wissenschaftsbetrieb studiert und beschrieben, wie die Wissenschaftler mit dem meisten Prestige auch die meiste Aufmerksamkeit erhielten, was er als „Matthäus-Effekt“ bezeichnete.

Ende des 20. Jahrhunderts zeigten zwei Physiker, dass Kleine Welt und Matthäus-Effekt sinnvoll als Netzwerkdynamiken modelliert werden können und dass natürliche und technische, aber auch soziale Netzwerke die entsprechenden Eigenschaften aufweisen.¹ Watts (mit Strogatz 1998) hat ein Modell entwickelt, bei dem die Milgram'schen Abkürzungen durch zufälliges Neuverlinken sich überlappender Cliquen entstehen. Die Kleine-Welt-Eigenschaft von Netzwerken bezeichnet seitdem die Gleichzeitigkeit hoch verbundener Knotengruppen und kurzer Distanzen. Barabási (mit Albert 1999) hat ein Wachstumsmodell entwickelt, wonach neue Knoten bevorzugt an bestehende andocken, die bereits einen hohen Grad haben (preferential attachment). „Reiche“ Knoten werden also immer reicher – es entstehen die so genannten *Hubs*.

Sowohl Barabási (2002) als auch Watts (2003) haben Bestseller geschrieben und für ihre Arbeit viel Aufmerksamkeit erhalten. Die „Invasion der Physiker“ (Bonacich 2004) hat in Teilen der Soziologie für Verstimmung gesorgt. Stein des Anstoßes ist einerseits, dass die Physiker soziale Formationen physikalischen Gesetzen unterwerfen. Tatsächlich ist ihr Anspruch, *universelle* Klassen von Netzwerktopologien entdeckt zu haben.² Andererseits wird kritisiert, dass sie die Jahrzehnte lange Tradition der soziologischen Netzwerkanalyse

¹ Ein *Netzwerk* besteht aus *Knoten* und zwischen ihnen bestehenden *Kanten*. Die Anzahl der Kanten eines Knotens ist der *Grad*. Ein Knoten mit einem sehr hohen Grad ist ein *Hub*. Unter *Clustering* soll hier die Bildung einer Gruppe von Knoten, die untereinander vielfach verbunden sind, verstanden werden. Eine *Clique* ist eine solche Gruppe, in der jeder Knoten mit jedem anderen über eine Kante verbunden ist. Die *Distanz* zweier Knoten ist die Anzahl zwischen ihnen liegender Kanten. Der *Durchmesser* ist die maximale Distanz im Netzwerk.

² Das neuronale Netzwerk des Wurms *Caenorhabditis elegans*, das Stoffwechselnetzwerk des Bakteriums *Escherichia coli*, das aus der *International Movie Data Base* generierte Spielfilmbesetzungsnetzwerk, das *World Wide Web*, das Internet und das Hochspannungsnetzwerk der westlichen USA – um nur einige Netzwerke zu nennen – sind sowohl Kleine Welten als auch skalenfrei (Newman et al. 2006).

(Freeman 2004) missachten, indem sie ihre Netzwerkforschung als „neu“ bezeichnen. Stegbauer sieht eine „Kritik an der Selbstbeschränkung“ der Soziologie und in der Abwehrhaltung den Versuch, „das Erreichte zu bewahren und nicht den Neuankömmlingen einfach das Feld zu überlassen.“ (i. E.: 10)

In diesem Kapitel wird argumentiert, dass Erkenntnisse über die Struktur und Dynamik sozialer Systeme aus dem Vergleich mit nichtsozialen Systemen erwachsen können. Dieses erfordert jedoch, die jüngeren Ergebnisse der interdisziplinären Netzwerkforschung aus der Perspektive der Komplexitätstheorie zu betrachten. Was das ist, wie die bislang beschriebenen Resultate darin eingeordnet werden können und warum tatsächlich etwas entdeckt worden ist, das den Namen „New Science of Networks“ verdient, darum geht es im ersten Abschnitt. Im zweiten Abschnitt wird tiefer in die weniger populären Ergebnisse der Komplexitätsforschung eingedrungen. Selbstähnlichkeit und soziale Skalierung werden als die Eigenschaften komplexer Systeme vorgestellt, die einen fundamentalen Beitrag zur Soziologie leisten können. Wie dieser Beitrag konkret aussieht und wie er in der Sozialtheorie Harrison Whites umgesetzt wird, wird im dritten Abschnitt am Beispiel des Mikro-Makro-Problems diskutiert. Abschließend werden zentrale Erkenntnisse mit klassischen soziologischen Ideen abgeglichen und die Bedeutung der Komplexitätstheorie für Theorie und Anwendung eingeschätzt.

Interdisziplinäre Ergebnisse der Komplexitätsforschung

Auf dem Preprint-Server der *Cornell University* arXiv.org werden wissenschaftliche Aufsätze zur Mathematik und Physik zur Diskussion gestellt, bevor sie zur Veröffentlichung gehen. Es gibt dort auch eine Rubrik „Physics and Society“ und jeden Tag werden bis zu fünf neue Aufsätze hochgeladen. Dass Physiker sich sozialen Fragestellungen annehmen, ist immer wieder vorgekommen (Haken 1982, Schweitzer 1997, Weidlich 2000). Neu ist das Ausmaß, mit dem es heute stattfindet. *Sozio- und Ökonophysik* gehören zur Komplexitätsforschung, die sich allgemein mit dem Studium *komplexer Systeme* beschäftigt. Praktisch alles kann als komplexes System aufgefasst werden, angefangen bei Atomen, Molekülen und Zellen, über Lebewesen, inklusive Menschen, soziale Gruppen, Märkte, moderne Kommunikations- und Energieinfrastrukturen, bis hin zum Erdklima, dem Sonnensystem, der Milchstraße und letztendlich dem gesamten Universum.

Komplexe Systeme sind grundsätzlich dynamisch. Sie bestehen aus mehreren Komponenten, die interagieren, sich gegenseitig beeinflussen und anpassen. Aus der Interaktion bilden sich Systemzustände heraus, die nicht in den Komponenten begründet sind. Dieser Prozess der Herausbildung einer neuen Qualität wird als *Emergenz* bezeichnet. Auch die Organisation komplexer Systeme, oft genug erstaunlich hoch, ist nicht in den Komponenten begründet. *Selbstorganisation* ist das zentrale Paradigma der Komplexitätstheorie. Ordnung entsteht aus Interaktion, aber ohne zentrale Steuerung. Emergenz wird von *Rückkopplung* bzw. *Feedback* begleitet, emergente Strukturen beeinflussen die Komponenten und schränken sie in ihrer Interaktion ein. Die Komplexität der möglichen Interaktionen führt dazu, dass komplexe Systeme *nichtlinear* sind, d. h. auch mit Kenntnis sämtlicher Komponenteneigenschaften sind sie höchstens auf kurze Zeit vorhersagbar. Selbstorganisation macht jede Art linearer Prognose zu Nichte. (Bak 1996, Gell-Mann 1995, Holland 1995, Kauffman 1995)

Eine Wurzel der Komplexitätsforschung ist die statistische Physik, die sich mit der statistischen Formulierung von Naturgesetzen befasst (Strogatz 2004). Ein dortiges For-

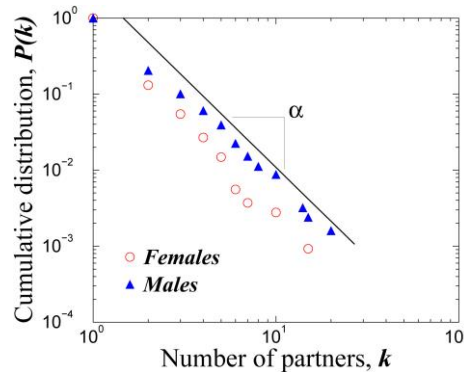
schungsgebiet sind *Phasenübergänge*. An seinem kritischen Punkt geht ein System blitzartig von einem Zustand in einen anderen über. Wenn man etwa einen Permanentmagneten aus Eisen erhitzt, verliert er bei 768°C schlagartig seine Magnetisierung. Die Ordnung der gleich ausgerichteten Eisenatome wandelt sich spontan ins Chaos. Auch das Kleine-Welt-Modell von Watts & Strogatz (1998) stellt einen Phasenübergang *zwischen Ordnung und Chaos* dar. An ihrem kritischen Punkt wird die geordnete Welt der sich regelmäßig überlappenden Cliques zur Kleinen Welt der kurzen Wege.

Am Punkt, an dem der Permanentmagnet ins Chaos übergeht, gibt es ganze viele Komponenten, die nur aus wenigen gleichgerichteten Atomen bestehen, und ganz wenige Komponenten, die jedoch aus ganz vielen gleichgerichteten Atomen bestehen. Die Häufigkeitsverteilung dieser verschiedenen großen Komponenten am kritischen Punkt wird durch ein *Potenzgesetz* (power law) beschrieben (Newman 2005). Bereits im 19. Jahrhundert hatte Pareto (1896) entdeckt, dass das Einkommen der italienischen Bevölkerung nach einer Art Potenzgesetz verteilt ist (80/20-Verteilung). Die Entdeckung von Barabási & Albert (1999) besteht darin, Potenzgesetze in den Gradverteilungen von Netzwerken komplexer natürlicher, technischer und sozialer Systeme gefunden zu haben. Weil kein mittlerer Grad das jeweilige System beschreibt – die Hubs verhindern jede sinnvolle Mittelwertbildung –, sind solche Netzwerke *skalenfrei*. Das folgende Zitat aus Barabásis Buch verdeutlicht, warum es gerechtfertigt ist, trotz der beachtlichen Leistung der soziologischen Netzwerkanalyse von einer „New Science of Networks“ zu sprechen:

The theory of phase transitions told us loud and clear that the road from disorder to order is maintained by the powerful forces of self-organization and is paved by power laws. It told us that power laws are not just another way of characterizing a system's behavior. They are the patent signatures of self-organization in complex systems. This unique and deep meaning of power laws perhaps explains our excitement when we first spotted them on the Web. It wasn't only that they were unprecedented and unexpected in the context of networks. It was that they lifted complex networks out of the jungle of randomness where Erdős and Rényi had placed them forty years earlier and dropped them into the center of the colorful and conceptually rich arena of self-organization. (Barabási 2003: 77)

Die Leistung von Watts und Barabási besteht darin, die Universalität sozialwissenschaftlich bekannter Phänomene gezeigt und sie als Netzwerkdynamiken modelliert zu haben. In der „neuen“ Netzwerkforschung ist nun klar, dass Netzwerke die Darstellungsform komplexer Systeme sind. Für die Soziologen, die die Zufallsgraphen von Erdős und Rényi schon länger hinter sich gelassen haben, als die Physiker, ist neu, dass auch neuronale Netzwerke Kleine Welten sind und dass es auch in unseren Gehirnen „Reiche“ gibt.

Zwar sind Potenzgesetze oder Potenzgesetz ähnliches Verhalten seit langem aus univariaten Häufigkeitsverteilungen unterschiedlichster Systeme bekannt. Pareto (1896) entdeckte die verräterische hyperbolische Kurve in der italienischen Einkommensverteilung. Zipf (1949) entdeckte sie in der Wortverwendung und vermutete, dass man wenige Worte häufig benutzt und viele selten, weil der Aufwand dadurch gering bleibt. Bis heute sind Potenzgesetze entdeckt worden in den Verteilungen von Firmengrößen (Axtell 2001, Ijiri & Simon 1977), Stadtgrößen (White et al. 2007), Kriegs- (Richardson 1960) und Terroris-musopferzahlen (Clauset et al. 2007), Sexpartnern (Liljeros et al. 2001) und einer Vielzahl weiterer Verteilungen wie der Publizität von Wissenschaftlern, Erdbebenstärken oder Sonnenfleckengrößen (zusammengefasst von Newman 2005).



Potenzgesetz: Das Histogramm (Liljeros et al. 2001: 907) gibt die Wahrscheinlichkeit $P(k)$ an, über einen Zeitraum von einem Jahr k Sexpartner gehabt zu haben. Die Wahrscheinlichkeit wurde berechnet aus Interviews über das Sexualverhalten von 2810 Schweden aus dem Jahr 1996. Während die meisten Befragten keinen, einen oder wenige Partner hatten, hatten wenige so genannte *Hubs* mehr als zehn Partner. Wenn, wie in diesem Fall, die Verteilung bei logarithmischer Skalierung beider Achsen einer Geraden entspricht, wird sie durch ein *Potenzgesetz* beschrieben. Die Steigung der Geraden ist dann der Exponent α des Potenzgesetzes. Da kein Mittelwert die Verteilung sinnvoll charakterisiert, heißen die *Netzwerke*, die zu solchen Verteilungen führen, *skalenfrei*.

Solla Price hat das Prinzip der Potenzgesetze bereits 1965 in seiner Analyse wissenschaftlicher Zitationsnetzwerke beschrieben, doch gemessen worden ist die Skalenfreiheit erst nach 1999. Neben natürlichen und technischen Netzwerken ist die Eigenschaft bestätigt für soziale Kontaktnetzwerke von Wissenschaftlern, Schauspielern, Musikern und Managern, ökonomische Netzwerke von Aufsichtsratsmitgliedern, Aktien- und Geldflüssen, dem Weltmarkt und Produktionsmärkten, und soziotechnische Netzwerke wie dem Internet, WWW und der *Wikipedia*. (Caldarelli 2007, Nakano & White 2006, Newman 2002, Park et al. 2007)

Die Realität komplexer Netzwerke ist jedoch nicht so eindeutig, wie es bisher klingen mag. Zunächst einmal beschreiben die beiden Modelle unterschiedliche emergente Netzwerkeigenschaften. Das Kleine-Welt-Modell ist nicht skalenfrei, weil die Knotengradverteilung normal ist, und das skalenfreie Modell macht keine Aussage über Clustering. (Bonacich 2004) Außerdem gibt es Unterschiede zwischen sozialen und nichtsozialen komplexen Systemen. Kritik an Milgrams Ergebnissen (Kleinfeld 2002) ist durch eine erfolgreiche Wiederholung des Experiments im Internet und durch Simulationen ausgeräumt worden (Watts 2003: Kapitel 5) und die Kleine Welt ist in der Soziologie angekommen (Burt 2005, Watts 1999, White Forthcoming). Es ist aber fraglich, wie stark Clustering in nichtsozialen Netzwerken über das per Zufall zu erwartende Maß hinausgeht (Newman & Park 2003).

Die Erfahrung der soziologischen Netzwerkanalyse ist, dass Hubs – wenn sie vorliegen – oft signifikant kleiner sind, als per Potenzgesetz erwartet. Dann beschreibt ein Exponentialgesetz die Gradverteilung besser. Freundschaftsnetzwerke hingegen sind gut per Mittelwert oder Median auf einer definierten Skala beschreibbar. Es ist auffällig, dass Hubs in solchen sozialen Netzwerken auftreten, deren Kanten über einen großen Zeitraum akkumuliert worden sind. Im Netzwerk der Sexualkontakte (Liljeros et al. 2001) gibt es tatsächlich Hubs mit extrem vielen Kontakten, doch der Beschreibungszeitraum beträgt ein ganzes Jahr. In Kontaktdatenbanken wie Xing, StudiVZ, etc. kann man natürlich einen regelrech-

ten Vorrat an Kontakten aufbauen. Doch wie viele kann man auch im selben Kontext nutzen?

Über des Rätsels Lösung gibt es verschiedene Ansichten. Die soziologische ist die von Gravovetter (1973): Je stärker eine Beziehung ist, desto mehr Aufmerksamkeit braucht sie und desto weniger kann man folglich haben. Flüchtige Beziehungen hingegen kann man viele haben. Physiker (Amaral et al. 2000) kommen dem mit einer Simulation entgegen, die zeigt, dass sich die Größe der Hubs reduzieren lässt, wenn man dem Unterhalt einer Kante Kosten auferlegt und Knoten altern lässt. Als möglichen Schluss bieten sie jedoch an, dass sich soziale Systeme weiter entfernt von ihrem jeweiligen kritischen Punkt befinden als beispielsweise natürliche Systeme. Demnach wäre ein Netzwerk flüchtiger Sexualkontakte einer wie auch immer gearteten Zustandsänderung näher als ein Freundschaftsnetzwerk – ein Gedanke, der auch soziologisch etwas für sich hat. Darüber hinaus sind Hubs in sozialen Netzwerken wie Zitationsnetzwerken anders als in natürlichen Netzwerken häufig miteinander verbunden (Newman 2002).

Zwischenfazit: Die Existenz universeller emergenter Struktureigenschaften komplexer Systeme ist genügend gesichert, so dass von einer neuen interdisziplinären Netzwerkforschung gesprochen werden kann. Der Gefahr der Verallgemeinerung kann begegnet werden, indem zwischen Dynamiken *der* Netzwerke, die leicht skalenfrei sein können, und Kontext gebundenen Dynamiken *auf* Netzwerken, die durch Kapazitäten eingeschränkt sind, unterschieden wird. (Watts 2003: 114ff) Beim derzeitigen Ansatz unterscheiden sich soziale Systeme strukturell in vielerlei Hinsicht von nichtsozialen Systemen. Eine Komplexitätstheoretisch informierte Sozialtheorie sollte auf diese Unterschiede eingehen.

Selbstähnlichkeit und soziale Skalierung

Will man die Länge der Küste Großbritanniens messen, wird man sein Messband umso häufiger anlegen müssen, je kürzer es ist. Die Häufigkeit des Anlegens als Funktion der Länge des Messbands wird durch ein Potenzgesetz beschrieben. In seiner klassischen Arbeit über die britische Küste hat Mandelbrot (1967) den Exponent des Potenzgesetzes als fraktale Dimension definiert. Ein fraktales Objekt weist ein hohes Maß an *Selbstähnlichkeit* auf, d.h. es sieht auf verschiedenen Größenskalen betrachtet ähnlich aus. Tatsächlich sieht eine Küste lange Zeit ähnlich aus, wenn man hereinzoomt. Der Exponent des Potenzgesetzes ist ein Maß dafür. Fraktale sind in der Natur allgegenwärtig. (Mandelbrot 1987)

Potenzgesetze beschreiben also nicht nur viele Häufigkeitsverteilungen und die Gradverteilungen komplexer Netzwerke, sondern stehen allgemein für *Skaleninvarianz*, für die Eigenschaft komplexer Systeme, dass Kennwerte sich bei Veränderung der Beobachtungsskala nicht verändern. Die Skalenfreiheit komplexer Netzwerke ist nichts anderes als die Skaleninvarianz der Knotengradverteilung. Als die Skalenfreiheit entdeckt worden ist, lag daher die Vermutung nah, dass solche Netzwerke auch selbstähnlich sind. (Strogatz 2005)

Song *et al.* (2005) definieren Mandelbrots (1967) fraktale Dimension für Netzwerke³ und zeigen, dass sowohl Proteininteraktionsnetzwerke (natürliche Signalnetzwerke), meta-

³ Statt eine Küste mit einem Band gegebener Länge zu messen, wird ein Netzwerk durch *Kisten* gegebener Maximaldistanz vollständig abgedeckt. Ist eine Kiste so groß wie der Netzwerkdurchmesser, reicht eine Kiste. Ist die Distanz gleich Null, braucht man so viele Kisten, wie es Knoten gibt. Je kleiner die Kiste ist, desto mehr braucht man davon. Wird dieses Verhältnis durch ein Potenzgesetz beschrieben, ist das Netzwerk fraktal, und der Exponent ist seine fraktale Dimension.

bolische Netzwerke und das WWW fraktal sind. Es sind solche Netzwerke fraktal, deren Hubs nicht miteinander verbunden sind. Im WWW sind die Hubs nicht miteinander verbunden – *Yahoo* linkt nicht zu *Google* –, im Internet hingegen sind die stärksten Router im Backbone miteinander verbunden. Der Internetverkehr ist also fraktal, während die technische Infrastruktur es nicht ist. Da in skalenfreien sozialen Netzwerken die Hubs tendenziell miteinander verbunden sind (Newman & Park 2003), sind soziale Netzwerke nach Song *et al.* (2006) auch nicht fraktal. Damit ist Selbstähnlichkeit jedoch noch nicht ausgeschlossen.⁴

Arenas, Guimerá *et al.* (2004, 2003) haben Selbstähnlichkeit in der Gruppenhierarchie sozialer Netzwerke aus digitalen Quellen gefunden – auch bei nichtskalenfreien Netzwerken. Basierend auf dem Clustering-Algorithmus von Girvan & Newman (2002) berechnen sie zunächst, wie sich z.B. E-Mail-Nutzer gruppieren und die emergenten Nutzergruppen sich auf höherer *Ebene* selber wiederum gruppieren. Die resultierende Hierarchie ist selbstähnlich und ähnelt der eines selbstähnlichen Dränagenetzwerks eines Flusses, in dem sich unzählige Rinnsale zu Bächen gruppieren und letztendlich einen einzelnen großen Strom bilden. Die Potenzgesetze, die die Gruppenhierarchie der E-Mail- und Flussnetzwerke beschreiben, sind weitgehend ähnlich und haben praktische denselben Exponenten. Es ist bekannt, dass Flüsse einen energetisch minimalen Zustand anstreben. Das wirft die Frage auf, ob soziale Netzwerke sich auch selbstorganisieren, so dass eine Art von Prozess optimiert wird.

In der fraktalen Geometrie können Objekte gebrochene Dimensionen haben. So kann aus einer eindimensionalen Linie durch fraktale Verzweigung im Unendlichen eine zweidimensionale Fläche entstehen. Regen prasselt auf Flächen hernieder und wird über Rinnsale, Bäche, etc. abtransportiert. Im Grenzwert ist ein Dränagenetzwerk also zweidimensional. Da man jedoch nicht bis in unendlich Kleine messen kann, hat es eine fraktale Dimension zwischen eins und zwei. (Vgl. Maritan *et al.* 1996) In Pflanzen verzweigen sich Venen statistisch ähnlich, um „den letzten Winkel“ der Blätter mit Nährstoffen zu versorgen (Pelletier & Turcotte 2000). Ähnlich erschließen Blutgefäße jeden Bereich des Körpers der Säugetiere (West *et al.* 1999). Auch Verkehrswege auf dem Boden und in der Luft sind fraktal (Guida & Maria 2007, Kalapala *et al.* 2006). Es ist offenbar egal, was auf einem Netzwerk fließt – Wasser, Nährstoffe, Signale, Informationen oder Personen –, die zugrunde liegenden selbstorganisierten Infrastrukturen scheinen immer fraktal zu sein.

Diese interdisziplinären Erkenntnisse werfen grundlegende Fragen über die Rolle von Gruppen und Hierarchien in komplexen Systemen auf. Kleine-Welt-Eigenschaft und Skalenfreiheit bilden sich offenbar heraus, weil sie ein Netzwerk effizienter machen und „Kosten“ drücken (Colizza *et al.* 2004). Mehrere Autoren haben deterministische selbstähnliche Wachstumsmodelle für Netzwerke vorgestellt, die beide Eigenschaften aufweisen (Dorogovtsev *et al.* 2002, Jung *et al.* 2002, Ravasz & Barabási 2003). In diesen betten sich typischerweise dicht vernetzte Gruppen in größere, weniger dichte Gruppen ein, die dann noch größere und noch weniger dichte Gruppen bilden. Weil eine solche Hierarchie auch in vielen realen skalenfreien Netzwerken messbar ist, schließen Ravasz & Barabási, dass hierarchische selbstähnliche Selbstorganisation ein robustes Verständnis komplexer Systeme

⁴ Ein Netzwerk ist selbstähnlich, wenn die Gradverteilung bei Renormalisierung invariant ist. *Renormalisierung* bedeutet, alle Knoten einer Kiste zu einem einzelnen Knoten, bei Beibehaltung der Kanten zwischen Kisten, zu verschmelzen und diesen Prozess bei konstanter Kistengröße so lange fortzusetzen, bis ein einzelner Knoten übrig bleibt. Haben die Knotengradverteilungen der verschiedenen Iterationsschritte denselben Potenzgesetzexponenten, ist das Netzwerk selbstähnlich.

bietet. Da Gruppen und Hierarchien zentrale soziologische Kategorien sind, bieten sich hier Anknüpfungspunkte für Skaleninvarianz als Struktur bildendes Ordnungsprinzip.⁵

Diese Art der Netzwerkmodellierung impliziert, dass sich nicht Gruppen aller Größen herausbilden, dass es bevorzugte und gemiedene Gruppengrößen gibt. Tatsächlich kommen entsprechende Bestätigungen aus der Anthropologie. Unterstützungsquellen sind 3-5 Menschen, Sympathiegruppen 12-20 Menschen stark. In Jäger-Sammler-Gesellschaften finden sich jeweils 30-50 Menschen zu regionalen Nachtlagern zusammen. Ca. 150 bilden einen Clan, ca. 500 eine Megagruppe und 1000-2000 einen Stamm⁶. (zusammengefasst von Zhou et al. 2005)

Ausgehend von der *Social Brain Hypothesis*, dass die Verarbeitungsleistung des Gehirns eine kognitive Grenze für die Größe sozialer Gruppen vorgibt, unterziehen Zhou et al. ein weltweites Sample aus 61 Angaben von Gruppengrößen verschiedener sozialer Systeme einer Fraktalanalyse. Sie identifizieren eine *diskrete Hierarchie* von Gruppengrößen mit einem Skalierungsfaktor von etwa drei. Das heißt, Unterstützungsquellen sind durchschnittlich dreimal kleiner als Sympathiegruppen, die dreimal kleiner sind als regionale Gruppen usw. Weil das harmonische Signal im erwarteten Rauschen statistisch signifikant ist, auch im Militär Gruppen mit einem Verhältnis von etwa drei skalieren⁷ und das selbe Phänomen auch erklären könnte, warum Börseninvestoren Herdenverhalten zeigen, schließen sie, dass diskrete Gruppenhierarchie eine universelle Eigenschaft komplexer sozialer Systeme ist.

Hamilton et al. (2007) finden für ein weltweites Sample aus 1189 Schätzungen von Gruppengrößen auf sechs vordefinierten Ebenen in 339 Jäger-Sammler-Gesellschaften und für verschiedene Nahrungssuchestrategien und ökologische Bedingungen, dass die Populationsstruktur selbstähnlich ist mit einem Skalierungsfaktor von fast vier. Anders als ihre Vorgänger schließen sie daraus, dass soziale Netzwerke sich wie Flüsse und Blutkreisläufe fraktal selbstorganisieren, damit heterogen verteilte Ressourcen wie Fleisch, Beeren, Brennholz und Informationen möglichst effektiv umverteilt werden können.

Nicht unähnliche Überlegungen hat Johnson (1982) angestellt. Er zeigt am Beispiel der egalitären Jäger-Sammler-Gesellschaft der !Kung, dass Streitigkeiten mit zunehmender Gruppengröße zunehmen. Dieses erklärt er durch „skalaren Stress“: Aus Kleingruppenstudien ist bekannt, dass Sechsergruppen am effizientesten sind (Simon 1973). Größere Gruppen seien zunehmend Kommunikationsstress ausgesetzt, da die Anzahl der Kommunikationsbeziehungen annähernd exponentiell mit der Größe der Gruppe wächst. Zur soziopolitischen Selbstorganisation egalitärer Gesellschaften postuliert er „sequentielle Hierarchien“ mit konstanten Basisgruppengrößen: sechs Sechsergruppen werden von je einer Person repräsentiert, die zusammen eine Sechsergruppe auf einer höheren emergenten Ebene bilden, usw. Fusions- und Spaltungstendenzen sozialer Gruppen sind demnach eine Folge der Vermeidung von skalarem Stress.

Johnson testet sein quasifraktales Gruppenhierarchiemodell mit Daten über 23 Gesellschaften und zeigt: Je größer eine Gesellschaft ist, desto kleiner ist die Rate der Verwaltungsangestellten pro Person. Douglas White (2003) zeigt, dass dieses Verhältnis durch ein

⁵ Die Suche nach sinnvollen Abgrenzungen von Gruppen bzw. Modulen gehört zu zentralen Aufgaben der Netzwerkforschung. Eine Vielzahl von Algorithmen zur Analyse hierarchischer Gruppenbildung sind vorgeschlagen worden. Zu nennen sind vor allem Gruppen, die auf der Basis von *n-Cliquen* (Bron & Kerbosch 1973, Song et al. 2006), *Blöcken* (Reichardt & White 2007, White et al. 1976), *k-Kernen* (Palla et al. 2005, Seidman 1983), *Communities* (Girvan & Newman 2002) und *k-Komponenten* (Moody & White 2003) identifiziert werden.

⁶ Passend zur Baummetapher wird die größte soziale Gruppe als Stamm bezeichnet.

⁷ Einheit (10-15), Platoon (35), Company (120-150), Battalion (550-800), Brigade (1500+).

Potenzgesetz beschrieben wird, das für eine Gesellschaft der Größe Eins auch einen Verwalter vorhersagt. In komplexen sozialen Systemen stehen Potenzgesetze daher auch für *soziale Skalierung*. Den Exponenten gibt White mit $6/7$ an, was dem Exponenten $3/4$ für *biologischen Skalierung* recht nah kommt. Statt der Verwaltungsrate bezogen auf die Größe von Gesellschaften gibt der Exponent dort etwa die Stoffwechselrate bezogen auf die Körpermasse von Säugetieren wieder (West et al. 1997, West & Brown 2004).

Zwischenfazit: Potenzgesetze sind die Signatur diskret hierarchisch skalierender komplexer Systeme. Nichtskalenfrie Netzwerke können skaleninvariante Gruppenshierarchien aufweisen. Und auch wenn „Kosten“ oder „Stress“ Hubs verhindern, kann ein Potenzgesetz die Skalierung des Systems beschreiben. Skaleninvarianz kann sich also auf verschiedene Weise zeigen, in univariaten Häufigkeits- und Knotengradverteilungen und in bivariaten Skalierungsverhältnissen. Echte Skaleninvarianz gibt es allerdings nur in unendlich großen Systemen. Deswegen gibt es in der Empirie immer eine Grenze, die einem betrachteten System doch schließlich ein Skalenregime oder sogar eine konkrete Größe zuordnet.⁸ (Watts 2003: 111ff) Statt Fraktalität als Ordnungsprinzip komplexer sozialer Systeme zu postulieren, scheint es daher sinnvoller, nach Selbstähnlichkeit zu suchen.

Das Mikro-Makro-Problem in der Soziologie und die Sozialtheorie Harrison Whites

Wie bisher diskutiert, widmet sich die interdisziplinäre Komplexitätsforschung zunehmend dem Sozialen und fördert dabei für die Soziologie relevante strukturelle Erkenntnisse zu Tage. Noch aber fehlt eine „komplexitätstheoretisch informierte Sozialtheorie“ (Kappelhoff 2002), die die Ergebnisse der Soziophysik aufnimmt und sinnvoll in die Soziologie einbettet. Eine solche Theorie sollte emergente Struktureigenschaften wie Kleine Welt, Skalensfreiheit und Selbstähnlichkeit aufgreifen und mit Paradigmen wie Skaleninvarianz, Selbstorganisation und Nichtlinearität umgehen, wenn dadurch ein Beitrag zur Soziologie geleistet werden kann.

Dieser Beitrag besteht in einer Antwort auf das *Mikro-Makro-Problem*, wie Person (Handeln) und Gesellschaft (Sozialstruktur) sich zueinander verhalten. Ob Gesellschaft aus individuellem Handeln hervorgeht und/oder Personen dabei einschränkt, ist eine der zentralsten und ältesten Fragestellungen der Soziologie. (Heintz 2004, Mayntz 1999) Weber (1980 [1922]) hat diese als verstehende Methode aufgefasst, um soziales Handeln zu erklären, und so sind auch seine Aussagen über Gesellschaft konsequent an Individuen orientiert. Durkheim (2002 [1895]) hingegen wollte die Veränderung von Gesellschaft erklären und hat Sozialstruktur als etwas beschrieben, das einerseits Produkt menschlicher Aktivität, andererseits *sui generis* – eine eigene Qualität – ist und individuelles Handeln beeinflusst. Wegen dieses vermeintlichen Dilemmas attestiert ihm Wiley (1988), das Individuum untertheoretisiert zu haben.

Parsons Handlungstheorie (1937) basiert darauf, dass Individuen sich an „richtigem“, angelerntem Verhalten orientieren, was zu Granovetters (1985) Kritik der „Übersozialisierung“ geführt hat. In seiner späteren Handlungssystemtheorie hat Parsons (2003 [1951]) vier Subsysteme für unterschiedliche soziale Ebenen eingeführt und jedem eine Funktion

⁸ Zum Studium komplexer Systeme bieten sich daher gedehnte Exponentialfunktionen an, die breite lineare Skalenregime, Grenzen und dadurch eine charakteristische Skala beschreiben (Laherrère & Sornette 1998). In zwei untersuchten Fällen interpretiert Douglas White (2003) diese Skala sinnvoll als Basisgruppengröße in Johnsons (1982) Sinn.

zugewiesen, von der wiederum jede in die gleichen vier Funktionen unterteilt ist. Sawyer (2005) bezeichnet Parsons Systemtheorie als unvereinbar mit modernen Erkenntnissen über komplexe Systeme, da Funktionen in Komponenten lokalisierbar und Parsons Systeme daher linear seien – kennt man ein Subsystem, kann man auch das Ganze beschreiben.

Mittlerweile gibt es die dritte Generation soziologischer Systemtheorien.⁹ Diese Theorie komplexer selbstorganisierter nichtlinearer sozialer Systeme (bisher in diesem Kapitel besprochen) schließt Agenten basiertes Modellieren (Epstein 2007, Gilbert & Troitzsch 2005, Miller & Page 2007) ein. Aus dieser Sicht sind Durkheims Ausführungen über „soziale Fakten“ *sui generis* als Fundament einer Emergenztheorie verständlich, die jedoch wegen individualistischer Vorurteile missverstanden worden sei (Sawyer 2005). Aufbauend auf einem solchen Verständnis Durkheims macht Wiley (1988) einen wichtigen Schritt, indem er ein Interaktionskontinuum zwischen den Polen Individuum und Gesellschaft schafft, in dem Emergenz- und Rückkopplungsprozesse stattfinden. Unglücklich ist hingegen seine Bezeichnung dieser Interaktionen als einzelne Ebene. Vielmehr sollten Emergenz und Feedback skalierbare Prozesse sein.

Harrison White (1992, Forthcoming) beginnt in seiner Sozialtheorie *Identity and Control* konzeptionell bei einem sozialen Rauschen, das die Zufälligkeit sozialer Beziehungen repräsentiert. *Kontrolle* über dieses Chaos zu erlangen, Fuß zu fassen, ist das Ziel von *Identitäten*. Diese sozialen Handlungseinheiten sind über flüchtige bis dauerhafte *Geschichten* miteinander verbunden. Identitäten betten sich kollektiv in fluktuierende Kontexte ein, „soziale Moleküle“ bändigen das Chaos. „Personen“ sind also nicht die Elementarteilchen des Sozialen. Sie definieren nicht ihre sozialen Beziehungen, sondern bilden sich aus Einbettungsmustern heraus. Was eine Person ausmacht, kann sich je nach Kontext durchaus unterscheiden – ein Familienvater mag in der Familie ein „ganz anderer Mensch“ sein, als auf der Arbeit. Personen sind also bereits komplexe Formationen, die in ihrer Umwelt Fuß gefasst haben.

Zur Einbettung bzw. Disziplinierung des Chaos gibt es drei fundamentale *Disziplinen* – „soziale Moleküle“ oder Einbettungsmuster, die zu jeweils unterschiedlichen Formen von Sozialstruktur führen.¹⁰ Wenn Identitäten sich auf der Suche nach Kontrolle in ein Sozialmolekül einbetten, konstituiert dieses eine eigene Identität auf höherer Ebene. Anders als bei Granovetter (1985) ist Einbettung also immer an die Herausbildung neuer Ebenen gebunden. Höhere Identitäten entkoppeln von niedrigeren Ebenen, koppeln aber gleichzeitig auf sie zurück.¹¹ Emergenz entspricht somit der Herausbildung einer Identität bei gleichzeitiger Entkopplung von der niedrigeren Ebene. Da dieser Strukturbildungs- und -erneuerungsprozess skaliert, ist Sozialstruktur eine „soziale Raumzeit“ hierarchisch verschachtelter Identitäten. Sie bildet sich aus Kontrollprojekten auf allen Ebenen heraus und schränkt Identitäten gleichzeitig in ihrem Handeln ein.¹² Sozialstruktur erstreckt sich also vom Mikro- bis in den Makrobereich und umfasst alle Prozesse zwischen einer flüchtigen

⁹ Parsons Systemfunktionalismus ist die erste Generation. Generelle System- und Chaostheorie gehören zur zweiten Generation (Bertalanffy 1968, Byrne 1998, Luhmann 1984, Prigogine & Stengers 1993), die allerdings größtenteils in der Naturwissenschaft beheimatet ist. (Sawyer 2005)

¹⁰ *Interface*-Disziplin ist ein Muster für die Einbettung von Identitäten in Flussprozesse auf der Basis von Qualität. *Arena*-Disziplin bettet Identitäten in Selektionsprozesse auf der Basis von Reinheit ein. *Council*-Disziplin bettet in Austauschprozesse auf der Basis von Prestige ein.

¹¹ Burt (1992) hat diese Art der Rückkopplung operationalisiert.

¹² Das Prinzip ist das Gleiche wie bei Johnsons (1982) „sequentiellen Hierarchien“. Statt einer Basisgröße von sechs nennt White (1992: 19ff) den Erfahrungswert fünf.

Begegnung mit einem Goffman-Fremden (Chaos) und einer stabilen Struktur wie der Weber'schen Bürokratie (Ordnung).

Soziale Prozesse finden in bestimmten *Netzbereichen* (network domains) statt – z.B. in Familie, Arbeit, Kneipe, etc. –, haben also eigene Referenzbereiche oder *Kontexte*. Die Überlappung unterschiedlicher Netzbereiche schafft nicht nur Bedeutung, sondern schiebt auch Kontexte horizontal ineinander. Einher mit der hierarchischen Einbettung und Entkopplung von Identitäten bilden sich auch Kontexte auf höheren Ebenen heraus. Kontext hat dadurch auch einen vertikalen Aspekt. So wird ersichtlich, dass ein gemeinsamer Kontext immer mehr schwindet, je mehr Identitäten man betrachtet, dabei aber die Betrachtungsskala nicht verändert. Für 80 Millionen Deutsche gibt es keinen gemeinsamen Kontext mehr. Aus diesem Grund ist „Gesellschaft“ für White auch ein Trugbild, „a convenient short-cut rather than a usable contextualization.“ (Forthcoming: 8.1.3.) Die Kleine-Welt-Eigenschaft ist dann ein „Artefakt“ der Disziplinierung des Chaos. Kurze Wege entstehen aus der horizontalen wie vertikalen Überlagerung von Kontexten, wobei der Zufall eine ständige Variable ist. (2.1.2.)

White unterscheidet sorgfältig zwischen Skalenfreiheit (Existenz von Hubs) und der grundlegenden Skaleninvarianz. Der einzige Hinweis, den White zu Hubs gibt, ist dass Interface-Disziplin das Einfallstor für „star systems“ bzw. schiefe Knotengradverteilungen ist (3.3.4.). Als Ursache für Hubs verweist er indirekt auf das *Gibrat Prinzip* (Ijiri & Simon 1977), eine frühe Variante des Reiche-werden-reicher-Mechanismus. Skaleninvarianz hingegen zieht sich wie ein roter Faden durch die Theorie. Weder Identität, Kontrolle, Disziplin oder Sozialstruktur sind auf irgendeine Skala begrenzt.¹³ Tatsächlich sind alle Konzepte der Theorie skaleninvariant.

my account challenges common sense constructs of person and of society in order to search out self-similarity of social organization, according to which much the same dynamic processes apply over and over again across different levels and scopes. (White Forthcoming: 1.10.)

transposition of measure across ... levels is essential to establishing self-similar theory that can hope to deal with the scrappy mess which is social organization. (2.6.1.)

Bislang fehlt sozialen Prozessen noch eine Art Zielgerichtetheit, etwas das Disziplinen fokussiert. *Stil* ist die institutionalisierte Anwendung immer ähnlicher Einbettungsmuster. Eine Person ist ein Stil. Sie ist von einem Beobachter durch die Art, wie sie sich sozial einbettet, als eigenständige Identität zu erkennen. Auch eine politische Bewegung ist ein Stil. Einzelne Mitglieder pflegen ähnliche Umfelder, lesen ähnliche Nachrichten und meiden ähnliche Kontrahenten wie regionale, nationale oder internationale Arbeitsgruppen der Bewegung. Stil ist Whites direktes Konzept für Selbstähnlichkeit. Stile generieren ähnliche Strukturen und Kontexte auf verschiedenen sozialen Größenskalen. Wenn Emergenz in Form von Einbettung und Entkopplung der Mechanismus der Entstehung und Erhaltung von Sozialstruktur ist, dann ist Stil das Prinzip, dass soziale Ordnung entstehen lässt. Außerdem verdeutlicht Stil den zeitlichen Aspekt von Sozialstruktur und bietet ein Verständnis sozialer Dynamik:

¹³ Zur Skaleninvarianz zitiert White keine naturwissenschaftliche Literatur, sondern Abbott (2001), der auf die Selbstähnlichkeit vieler sozialer Strukturen hinweist, etwa die institutionalisierte Soziologie an sich.

While identities can be like musical notes that struggle for a melody, and discipline embeds these identities in the larger context of a genre, style is the rhythm of social life. (White Forthcoming: 2.)

Zwischenfazit: *Identity and Control* ist bestens aufgestellt, um die Vermittlerposition zwischen Soziologie und Komplexitätstheorie auszufüllen. Die Modellierung komplexer sozialer Systeme ist sehr weit fortgeschritten. Bereits seit langem erkannt (Nadel 1957, Simmel 1989 [1890]) und dennoch als „completely undertheorized“ (Abbott 2001: 165) eingestuft, wird Selbstähnlichkeit erstmals grundlegend in die Modellierung einbezogen. Durch eine konsequente Anwendung skaleninvarianter Konzepte wird das Mikro-Makro-Problem vollständig aufgelöst. Emergenz wird als Mechanismus und Selbstähnlichkeit als Prinzip sozialer Ordnung eingeführt. Hierarchie ist eine emergente Eigenschaft verschachtelter nichtlinearer sozialer Raumzeit. Da Selbstähnlichkeit als Ordnungsprinzip zur Verkrustung von Sozialstruktur führt, stellt sich ein neues Ordnungsproblem, wie starre Ordnung überwunden und neue Handlungsmöglichkeiten herbeigeführt werden können. Kontexte spielen eine wichtige Rolle, etwa bei der Erklärung der Kleine-Welt-Eigenschaft.

Zum neuen Paradigma der Komplexitätstheorie

Bisher wurde versucht zu zeigen, dass es sinnvoll ist, Soziologie und interdisziplinäre Komplexitätstheorie einander anzunähern. Dazu wurde gezeigt, wie Harrison Whites „middle range theory“ *Identity and Control* (Forthcoming) das Mikro-Makro-Problem der Soziologie durch konsequente Anwendung skaleninvarianter Konzepte auflöst. Dabei wird ein *systemischer Ansatz* verfolgt: „agency and structure are only two sides of the same coin. We see agency through Weber’s microscope, and structure through Marx’s telescope.“ (Bunge 2000: 154)

Erkenntnisse über die Struktur und Dynamik komplexer sozialer Systeme (White 2004) sollen und können aus dem Vergleich mit nichtsozialen Systemen erwachsen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich die relationale Soziologie im 20. Jahrhundert überwiegend lokalen Kontexten und mikromarken Dynamiken angenommen hat. In solchen *kleinen komplexen Systemen* aber werden Hubs aus Kapazitätsgründen gar nicht erwartet und auch nicht gefunden. Erst seitdem Makrodaten sozialer Netzwerke und die zur Verarbeitung benötigte Rechenleistung vorhanden sind und Wissenschaftler mit der entsprechenden Erfahrung – anfangs meistens Physiker – sich der Analyse angenommen haben, werden Hubs gefunden. Ebenso ist das Kleine-Welt-Phänomen, das Milgram trotz enormen Aufwands nicht zweifelsfrei belegen konnte, erst seit der Wiederholung des Experiments im Internet und Simulationen von Watts *et al.* belegt worden. Da sich emergente Eigenschaften wie Kleine Welt, Skalenfreiheit und Selbstähnlichkeit erst ab einer gewissen Systemgröße herausbilden, sind diese erst im Zuge der „neuen“ Netzwerkforschung entdeckt worden.

Allerdings können auch kleine Systeme sehr komplex sein, wenn die Komponenten und Interaktionen komplex sind. Personen sind bereits sehr komplexe Systeme. Anders als Proteine haben kognitive Akteure „beliefs about the state of the environment, knowledge about actions and plans of actions, and knowledge about how their actions will affect the environment and the other agents.“ (Sawyer 2005: 172) Sawyer benennt *symbolische Kommunikation* als Hauptunterschied zwischen sozialen und nichtsozialen Systemen. Im Fall einer Infektion wird ein Protein mit Sicherheit auf dem effektivsten Weg sein Signal übermitteln, um seinen Beitrag zur Lösung des Problems zu leisten. Eine Person hingegen

mag einen weit entfernten Arzt aufsuchen, weil sie den nächstgelegenen nicht ausstehen kann. Wenn sich Cliquen bilden, Hubs sich tendenziell verbinden und so etwas wie Normen und Kultur entsteht, ist dieses auf symbolische Kommunikation zurückzuführen, die nichtsozialen Systemen fehlt.

Trotz dieses fundamentalen Unterschieds sind alle *großen komplexen Systemen* skaleninvariant. Sie skalieren über mehrere Größenordnungen und bilden dabei Hierarchien heraus. Distributionsnetzwerke sind mit großer Wahrscheinlichkeit selbstähnlich. Mittlerweile werden elektronische Bekanntschaftsnetzwerke mit bis zu fünfeinhalb Millionen Nutzern analysiert (Wakita & Tsurumi 2007). Auf höher aggregierter Ebene studieren Douglas White *et al.* (2007) die Dynamik des chinesischen Stadtsystems während der letzten 1000 Jahre. Solche Makrostudien dürften weitere Antworten auf Skalierungsfragen bergen. Was für Erkenntnisse aber liefern Potenzgesetze, die Signaturen der Skaleninvarianz? Zunächst einmal besagen sie, *dass* es in einem betrachteten System Ereignisse gibt, die großes Gewicht haben und die Charakterisierung des Systems durch eine mittlere Größe unmöglich machen. In bisher nicht diskutierter Lesart machen sie aber auch Aussagen, *wann* oder *wo* Ereignisse bestimmter Größe stattfinden.

Aus der Erdbebenforschung ist bekannt, dass schwache Beben häufig vorkommen und starke selten. Damit trifft das Potenzgesetz aber eine zeitliche Aussage, dass nämlich die Frequenz eines Bebens (Auftreten pro Zeiteinheit) umgekehrt proportional zu seiner Amplitude (Stärke) ist. Solch zeitlich fraktales Verhalten ist ein Beispiel eines *rosa Rauschens* (Bak *et al.* 1987). Andererseits zeigt sich, dass auch die Epizentren fraktal verteilt sind, wodurch das entsprechende Potenzgesetz eine räumliche Aussage trifft. Potenzgesetze sind damit räumlich und zeitlich fraktale Signaturen *selbstorganisierter Kritikalität*. Diese Theorie besagt, dass komplexe Systeme einen kritischen Zustand maximaler Komplexität haben, zu dem sie natürlicherweise evolvierten, auf den sie bei Überschreitung aber auch zurückfallen. (Bak & Chen 1991, Bak 1996)

Interessanterweise stellen die Menge der täglich an den Börsen gehandelten Aktien und deren Preisschwankungen auch ein fraktales Rauschen dar. Gabaix *et al.* (2003) haben gezeigt, dass die Tage, an denen eine Aktie sich um ein Prozent verändert, acht mal häufiger sind als Tage, an denen sie sich um zwei Prozent verändert, welche acht mal häufiger sind als Tage mit Veränderungen von vier Prozent, etc. – ein zeitlicher Skalierungsfaktor von acht. Hat lange Zeit kein großes Beben stattgefunden, steigt also die Eintrittswahrscheinlichkeit eines solchen. Mandelbrot (mit Hudson 2005) schlägt daher vor, Fraktale wie bei der Erdbebenprognose auch zur Navigation des Finanzmarkts zu verwenden. Da die Kursentwicklung eines einzelnen Tages der Gesamtbewegung eines längeren Zeitraums ähnele, deuteten zunehmende Tagesschwankungen auch auf längerfristig zunehmende Schwankungen hin. Bei einem Erdbeben fällt die Erde auf ihren kritischen Punkt maximaler Spannung zurück. Börsenbeben wären demnach eine Entspannung nach einer übermäßigen Aufladung des Finanzmarktes.

Es scheint ganz so, als hätte der Zufall noch eine Überraschung auf Lager, eine Struktur, die zwar nicht deterministisch ist, aber auch nicht linear. Komplexe Systeme haben möglicherweise ein Gedächtnis, durch das die Vergangenheit die Zufallsprozesse der Gegenwart weiterhin beeinflusst. (Bak 1996, Mandelbrot & Hudson 2005) Dieser Effekt ist auch bei sozialen Konflikten gefunden worden. Sowohl kleine terroristische Anschläge der letzten 40 Jahre (Telesca & Lovallo 2006) als auch Angriffe auf Soldaten im Irakkrieg (2003-2006) (Alvarez-Ramirez *et al.* 2006) korrelieren zeitlich. Diese zeitliche Fraktalität

ergänzt die bereits etablierte räumliche Fraktalität vieler komplexer Systeme – Stichwort: diskret-hierarchische Skalierung. Potenzgesetze weisen auf diese raumzeitliche Feinstruktur hin, verschleiern diese aber auch. Sie gehen weit über das von Barabási popularisierte Verständnis hinaus und stellen wegen ihrer Universalität eine enorme Herausforderung für die Soziologie dar.

Identity and Control ist auch deswegen so gut aufgestellt, weil dem Zufall darin eine so grundlegende Bedeutung zugemessen wird. Sozialstruktur bzw. soziale Raumzeit ist skaleninvariant, wodurch die Theorie es auch mit fraktaler Zeit aufnehmen kann.¹⁴ Wegweisend ist auch das Verhältnis von Zeit und Kontext. In einem einzelnen Moment ist eine Identität in nur einen Kontext eingebettet. Je weniger soziale Zeit jedoch eingegrenzt ist, desto vielschichtiger werden die Kontexte und desto mehr entfaltet sich die Sozialstruktur in all ihrer Komplexität.

Oppenheim & Putnam (1958) haben eine Hierarchie von Organisationsformen vorgestellt, die sich von natürlichen bis in soziale Systeme erstreckt:

Elementarteilchen > Atome > Moleküle > Zellen > Multizelluläre Lebewesen > soziale Gruppen

West & Brown (2004) stellen ein natürliches Skalierungsgesetz in Aussicht, das sich über 27 biophysikalische Größenordnungen, von Molekülen bis zu multizellulären Lebewesen erstreckt. Soziale Raumzeit kann von der biophysikalischen Raumzeit nicht getrennt werden. Produktion residiert dort, Jäger-Sammler-Gesellschaften leben im Einklang mit der Natur, Menschen haben Haustiere, usw. Identitäten sind das bessere Konzept statt Oppenheims & Putnams „soziale Gruppen“. Douglas Whites (2003) Skalierungsgesetz für die neun Größenordnungen sozialer Organisation – wenn man die Anzahl Menschen auf diesem Planeten nimmt – hat annähernd den gleichen Exponenten wie der für natürliche Systeme. Gibt es also *universelle Skalierung*?

Die Komplexitätstheorie ist eigentlich keine Theorie, vielmehr eine Perspektive der Betrachtung komplexer Systeme (Mathews et al. 1999, Morel & Ramanujam 1999). Klassische Konzepte wie Bürokratie (Weber 1980 [1922]), Arbeitsteilung (Durkheim 2004 [1893]) und Parsons Subsystemschema (2003 [1951]) finden ihre Entsprechung in Komplexitätstheoretischen Konzepten wie Hierarchie, funktionalen Komponenten und Selbstähnlichkeit – wenn auch, wie bei Parsons, „unselfconscious, theoretical, and static“ (Abbott 2001: 167). Aus dieser Perspektive ist der Börsencrash von 1987 eine Entspannung des Finanzsystems, die Revolution des Proletariats (Marx 1867-1894 [1957]) jedoch ein erfolgreicher Phasenübergang. Die Frage, ob das Bewusstsein das Sein bestimmt, oder umgekehrt, wird so beantwortet: Emergenz und Feedback sind simultane Eigenschaften dynamischer Systeme.

Brunk (2002) führt die klassische Frage nach der Veränderlichkeit oder Konstanz von Gesellschaften weiter aus der Perspektive selbstorganisierter Kritikalität, der er durchaus theoretischen Erklärungsgehalt zuspricht (2001). Demnach besteht der Grund für den Fortschritt der menschlichen Zivilisation darin, dass sie sich mit Maßnahmen wie der Versicherungen von Banken, Flussüberlaufgebieten, Kartellgesetzen und redundanten Komponenten in Hochspannungsnetzwerken auf die kaskadenartigen Probleme vorbereitet hat, die jedes evolvierende System an seinem kritischen Punkt erwartet. Kriege bezeichnet er jedoch als deutliches Beispiel selbstorganisierter Kritikalität, die nicht eingedämmt worden sei. Damit

¹⁴ Harrison White verwendet einen Plural für Zeit.

ist die praktische Seite der Komplexitätstheorie angesprochen. Es geht um *kontrollierte Emergenz* (Johnson 2001), Dynamiken komplexer Systeme zu erkennen und Ziel gerichtet in gewünschte Bahnen zu lenken. Setzt man am *Tipping Point* an, kann man mit kleinen Dingen wahrlich Großes bewirken (Gladwell 2002).

Mit der Komplexitätstheorie etabliert sich seit etwa einem viertel Jahrhundert – Vorläufer sind freilich älter – eine Forschungsperspektive, die zwar ihre Wurzeln in der Physik hat, aber in allen Disziplinen zu Hause ist. Dieser Wandel erfordert einen Paradigmenwechsel (Kuhn 1969 [2002]) – selbst ein Phasenübergang –, in dessen Verlauf das reduktionistische und lineare Paradigma durch ein *systemisches und nichtlineares Paradigma* ersetzt wird. Wie versucht wurde zu zeigen, hat diese Perspektive schon immer einen Platz in der Soziologie. Nun sollte diese sich dessen bewusst werden.

Literatur

- Abbott, Andrew. 2001. *Chaos of Disciplines*. University of Chicago Press.
- Alvarez-Ramirez, J., C. Ibarra-Valdez, E. Rodriguez, and R. Urrea. 2006. "Fractality and time correlation in contemporary war." *Chaos, Solitons and Fractals* 34:1039-1049.
- Amaral, L. A. N., A. Scala, M. Barthélémy, and H. E. Stanley. 2000. "Classes of small-world networks." *Proc. National Academy of Sciences* 97(21):11149-11152.
- Arenas, A., L. Danon, A. Díaz-Guilera, P. M. Gleiser, and R. Guimerà. 2004. "Community analysis in social networks." *European Physical Journal B* 38:373-380.
- Axtell, Robert L. 2001. "Zipf Distribution of U.S. Firm Sizes." *Science* 293:1818-1820.
- Bak, P., and K. Chen. 1991. "Selbstorganisierte Kritizität." *Spektrum der Wissenschaft* (März 1991):62-75.
- Bak, Per. 1996. *How Nature Works: The Science of Self-Organized Criticality*. Springer.
- Bak, Per, Chao Tang, and Kurt Wiesenfeld. 1987. "Self-organized criticality: An explanation of the $1/f$ noise." *Physical Review Letters* 59(4):381-384.
- Barabási, Albert-László. 2002. *Linked: The New Science of Networks*. Perseus.
- . 2003. *Linked: How Everything is Connected to Everything Else and What It Means for Business, Science, and Everyday Life*, 2nd ed. Plume.
- Barabási, Albert-László, and Réka Albert. 1999. "Emergence of scaling in random networks." *Science* 286:509-512.
- Bertalanffy, Ludwig von. 1968. *General System Theory*. Braziller.
- Bonacich, Phillip. 2004. "The Invasion of the Physicists." *Social Networks* 26:285-288.
- Bron, Coen, and Joep Kerbosch. 1973. "Finding all cliques of an undirected graph." *Communications of the ACM* 16:575-577.
- Brunk, Gregory G. 2001. "Self-Organized Criticality: A New Theory of Political Behavior and Some of Its Implications." *British Journal of Political Science* 31:273-292.
- . 2002. "Why Do Societies Collapse?" *Journal of Theoretical Politics* 14:195-230.
- Bunge, Mario. 2000. "Systemism: The Alternative to Individualism and Holism." *Journal of Socio-Economics* 29:147-157.
- Burt, Ronald S. 1992. *Structural Holes: The Social Structure of Competition*. Harvard University Press.
- . 2005. *Brokerage and Closure: An Introduction to Social Capital*. Oxford University Press.

- Byrne, David. 1998. *Complexity Theory and the Social Sciences: An Introduction*. Routledge.
- Caldarelli, Guido. 2007. *Scale-Free Networks: Complex Webs in Nature and Technology*. Oxford University Press.
- Clauset, Aaron, Maxwell Young, and Kristian Skrede Gleditsch. 2007. "On the Frequency of Severe Terrorist Events." *Journal of Conflict Resolution* 51:58-87.
- Colizza, Vittoria, Jayanth R. Banavar, Amos Maritan, and Andrea Rinaldo. 2004. "Network structures from selection principles." *Physical Review Letters* 92:198701.
- Dorogovtsev, S. N., A. V. Goltsev, and J. F. F. Mendes. 2002. "Pseudofractal scale-free web." *Physical Review E* 65:066122.
- Durkheim, Emile. 2002 [1895]. *Die Regeln der soziologischen Methode*. Suhrkamp.
- . 2004 [1893]. *Über soziale Arbeitsteilung*, 4th ed. Suhrkamp.
- Epstein, Joshua M. 2007. *Generative Social Science: Studies in Agent-Based Computational Modeling*. Princeton University Press.
- Freeman, Linton C. 2004. *The Development of Social Network Analysis: A Study in the Sociology of Science*. Empirical Press.
- Gabaix, Xavier, Parameswaran Gopikrishnan, Vasiliki Plerou, and H. Eugene Stanley. 2003. "A theory of power-law distributions in financial market fluctuations." *Nature* 423:267-270.
- Gell-Mann, Murray. 1995. *Das Quark und der Jaguar*, 3rd ed. Piper.
- Gilbert, Nigel, and Klaus G. Troitzsch. 2005. *Simulation for the Social Scientist*, 2nd ed. Open University Press.
- Girvan, M., and M. E. J. Newman. 2002. "Community structure in social and biological networks." *Proc. National Academy of Sciences* 99(12):7821-7826.
- Gladwell, Malcolm. 2002. *Der Tipping Point. Wie kleine Dinge Großes bewirken können*. Goldmann.
- Granovetter, Mark. 1973. "The Strength of Weak Ties." *American Journal of Sociology* 78(6):1360-1380.
- . 1985. "Economic Action and Social Structure: The Problem of Embeddedness." *American Journal of Sociology* 91(3):481-510.
- Guida, Michele, and Funaro Maria. 2007. "Topology of the Italian airport network: A scale-free small-world network with a fractal structure?" *Chaos, Solitons and Fractals* 31:527-536.
- Guimera, R., L. Danon, A. Diaz-Guilera, F. Giralt, and A. Arenas. 2003. "Self-similar community structure in a network of human interactions." *Physical Review E* 68:065103.
- Haken, Hermann. 1982. *Synergetik*. Springer.
- Hamilton, Marcus J., Bruce T. Milne, Robert S. Walker, Oskar Burger, and James H. Brown. 2007. "The complex structure of hunter-gatherer social networks." *Proc. Royal Society B* 274:2195-2202.
- Heintz, Bettina. 2004. "Emergenz und Reduktion: Neue Perspektiven auf das Mikro-Makro-Problem." *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie* 56:1-31.
- Holland, John H. 1995. *Hidden Order: How Adaption Builds Complexity*. Basic Books.
- Ijiri, Yuji, and Herbert A. Simon. 1977. *Skew Distributions and the Sizes of Business Firms*. North-Holland.

- Johnson, Gregory A. 1982. "Organizational Structure and Scalar Stress." in *Theory and Explanation in Archaeology*, edited by Colin Renfrew, Michael Rowlands, and Segraves-Whallon. Barbara A. Academic Press.
- Johnson, Steven. 2001. *Emergence: The Connected Lives of Ants, Brains, Cities, and Software*. Scribner.
- Jung, S., S. Kim, and B. Kahng. 2002. "Geometric fractal growth model for scale-free networks." *Physical Review E* 65:056101.
- Kalapala, Vamsi, Vishal Sanwalani, Aaron Clauset, and Cristopher Moore. 2006. "Scale invariance in road networks." *Physical Review E* 73:026130.
- Kappelhoff, Peter. 2002. "Komplexitätstheorie: Neues Paradigma für die Managementforschung?" Pp. 49-101 in *Theorien des Managements*, edited by Georg Schreyögg, and Peter Conrad. Gabler.
- Kauffman, Stuart. 1995. *At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity*. Oxford University Press.
- Kleinfeld, Judith S. 2002. "The small world problem." *Society* 39(2):61-66.
- Kochen, Manfred (ed.). 1989. *The Small World*. Ablex Publishing.
- Kuhn, Thomas. 1969 [2002]. *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*, 2. ed. Suhrkamp.
- Laherrère, J., and D. Sornette. 1998. "Stretched exponential distributions in nature and economy: 'fat tails' with characteristic scales." *European Physical Journal B* 2:525-539.
- Liljeros, Fredrik, Christofer R. Edling, Luís A. Nunes Amaral, H. Eugene Stanley, and Yvonne Åberg. 2001. "The web of human sexual contacts." *Nature* 411:907-908.
- Luhmann, Niklas. 1984. *Soziale Systeme: Grundriß einer allgemeinen Theorie*. Suhrkamp.
- Mandelbrot, Benoit. 1967. "How Long Is the Coast of Britain? Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension." *Science* 156:636-638.
- Mandelbrot, Benoit B. 1987. *Die fraktale Geometrie der Natur*. Birkhäuser Verlag.
- Mandelbrot, Benoit B., and Richard L. Hudson. 2005. *Fraktale und Finanzen: Märkte zwischen Risiko, Rendite und Ruin*. Piper.
- Maritan, Amos, Andrea Rinaldo, Riccardo Rigon, Achille Giacometti, and Ignacio Rodríguez-Iturbe. 1996. "Scaling laws for river networks." *Physical Review E* 53:1510.
- Marx, Karl. 1867-1894 [1957]. *Das Kapital (3 Bde.)*, 6. ed. Kröner.
- Mathews, K. Michael, Michael C. White, and Rebecca G. Long. 1999. "Why Study the Complexity Sciences in the Social Sciences?" *Human Relations* 52(4):439-462.
- Mayntz, Renate. 1999. "Individuelles Handeln und gesellschaftliche Ereignisse: Zur Mikro-Makro-Problematik in den Sozialwissenschaften." *MPIfG Working Paper* (5/1999).
- Merton, Robert K. 1968. "The Matthew Effect in Science." *Science* 159:56-63.
- Milgram, Stanley. 1967. "The small world problem." *Psychology Today* 2:60-67.
- Miller, John H., and Scott E. Page. 2007. *Complex Adaptive Systems: An Introduction to Computational Models of Social Life*. Princeton University Press.
- Moody, James, and Douglas R. White. 2003. "Structural Cohesion and Embeddedness: A Hierarchical Concept of Social Groups." *American Sociological Review* 68(1):103-127.

- Morel, Benoit, and Rangaraj Ramanujam. 1999. "Through the Looking Glass of Complexity: The Dynamics of Organizations as Adaptive and Evolving Systems." *Organization Science* 10(3):278-293.
- Nadel, S. F. 1957. *The Theory of Social Structure*. Cohen and West.
- Nakano, Tsutomu, and Douglas R. White. 2006. "Power-Law and 'Elite Club' in a Complex Supplier-Buyer Network: Flexible Specialization or Dual Economy?" in *Working Papers*. Center on Organizational Innovation, Columbia University.
- Newman, M. E. J. 2002. "Assortative mixing in networks." *Physical Review Letters* 89:208701.
- . 2005. "Power laws, Pareto distributions and Zipf's law." *Contemporary Physics* 46(5):323-351.
- Newman, M. E. J., A.-L. Barabási, and D. J. Watts (eds.). 2006. *The structure and dynamics of networks*. Princeton University Press.
- Newman, M. E. J., and Juyong Park. 2003. "Why social networks are different from other types of networks." *Physical Review E* 68:036122.
- Oppenheim, Paul, and Hilary Putnam. 1958. "Unity of Science as a Working Hypothesis." Pp. 3-36 in *Concepts, Theories and the Mind-Body Problem*, edited by Herbert Feigl, Michael Scriven, and Grover Maxwell. University of Minnesota Press.
- Palla, Gergely, Imre Derenyi, Illes Farkas, and Tamas Vicsek. 2005. "Uncovering the overlapping community structure of complex networks in nature and society." *Nature* 435:814-818.
- Pareto, Vilfredo. 1896. *Cours d'Économie Politique*. Droz.
- Park, Juyong, Oscar Celma, Markus Koppenberger, Pedro Cano, and Javier M. Buldú. 2007. "The Social Network of Contemporary Popular Musicians." *International Journal of Bifurcations and Chaos* 17:2281-2288.
- Parsons, Talcott. 1937. *The Structure of Social Action*. McGraw-Hill.
- . 2003 [1951]. *Das System moderner Gesellschaften*, 6th ed. Juventa.
- Pelletier, Jon D., and Donald L. Turcotte. 2000. "Shapes of river networks and leaves: Are they statistically similar?" *Philosophical Transaction: Biological Sciences* 355:307-311.
- Prigogine, Ilya, and Isabelle Stengers. 1993. *Dialog mit der Natur: Neue Wege naturwissenschaftlichen Denkens*, 2nd ed. Piper.
- Ravasz, Erzsébet, and Albert-László Barabási. 2003. "Hierarchical organization in complex networks." *Physical Review E* 67:026112.
- Reichardt, Jörg, and Douglas R. White. 2007. "Role models for complex networks." arXiv:0708.0958v1.
- Richardson, Lewis F. 1960. *Statistics of deadly quarrels*. Boxwood Press.
- Sawyer, R. Keith. 2005. *Social Emergence: Societies as Complex Systems*. Cambridge University Press.
- Schweitzer, Frank (ed.). 1997. *Self-Organization of Complex Structures: From Individual to Collective Dynamics*. Gordon and Breach.
- Seidman, S. 1983. "Network structure and minimum degree." *Social Networks* 5:269-287.
- Simmel, Georg. 1989 [1890]. *Über soziale Differenzierung*. Suhrkamp.
- Simon, Herbert A. 1973. "The Organization of Complex Systems." Pp. 3-27 in *Hierarchy Theory: The Challenge of Complex Systems*, edited by H. H. Pattee. Braziller.
- Solla Price, Derek J. de. 1965. "Networks of Scientific Papers." *Science* 149:510-515.

- Song, Chaoming, Shlomo Havlin, and Hernan A. Makse. 2005. "Self-similarity of complex networks." *Nature* 433:392-395.
- . 2006. "Origins of fractality in the growth of complex networks." *Nature Physics* 2:275-281.
- Stegbauer, Christian. i. E. "Die Invasion der Physiker' - Naturwissenschaft und Soziologie in der Netzwerkanalyse."
- Strogatz, Steven. 2004. *Synchron: Vom rätselhaften Rhythmus der Natur*. Berlin Verlag.
- Strogatz, Steven H. 2005. "Romanesque networks." *Nature* 433:365-366.
- Telesca, Luciano, and Michele Lovullo. 2006. "Are global terrorist attacks time-correlated?" *Physica A* 362:480-484.
- Wakita, Ken, and Toshiyuki Tsurumi. 2007. "Finding Community Structure in Mega-scale Social Networks." arXiv:cs/0702048v1.
- Watts, Duncan J. 1999. "Networks, Dynamics, and the Small-World Phenomenon." *American Journal of Sociology* 105:493-527.
- . 2003. *Six Degrees: The Science of a Connected Age*. Norton.
- Watts, Duncan J., and Steven H. Strogatz. 1998. "Collective dynamics of small world networks." *Nature* 393:440-442.
- Weber, Max. 1980 [1922]. *Wirtschaft und Gesellschaft*, 5th ed. Mohr Siebeck.
- Weidlich, Wolfgang. 2000. *Sociodynamics: A Systematic Approach to Mathematical Modelling in the Social Sciences*. Gordon and Breach.
- West, G. B., J. H. Brown, and B. J. Enquist. 1997. "A General Model for the Origin of Allometric Scaling Laws in Biology." *Science* 276:122-126.
- West, Geoffrey B., and James H. Brown. 2004. "Life's Universal Scaling Laws." *Physics Today* (September 2004):36-42.
- West, Geoffrey B., James H. Brown, and Brian J. Enquist. 1999. "The Fourth Dimension of Life: Fractal Geometry and Allometric Scaling of Organisms." *Science* 284:1677-1679.
- White, Douglas R. 2003. "Social Scaling: From scale-free to stretched exponential models for scalar stress, hierarchy, levels and units in human and technological networks and evolution." ISCOM working paper.
- . 2004. "Network Analysis and Social Dynamics." *Cybernetics and Systems* 35:173-192.
- White, Douglas R., Natasa Kejzar, and Laurent Tambayong. 2007. "Discovery of Oscillatory Dynamics of City-size Distributions in World Historical Systems." *Structure and Dynamics* (submitted).
- White, Harrison C. 1992. *Identity and Control: A Structural Theory of Social Action*. Princeton University Press.
- . Forthcoming. *Identity and Control: How Social Formations Emerge*, 2nd ed. Princeton University Press.
- White, Harrison C., Scott A. Boorman, and Ronald L. Breiger. 1976. "Social Structure from Multiple Networks. I. Blockmodels of Roles and Positions." *American Journal of Sociology* 81(4):730-780.
- Wiley, Norbert. 1988. "The Micro-Macro Problem in Social Theory." *Sociological Theory* 6:254-261.
- Zhou, W.-X., D. Sornette, R. A. Hill, and R. I. M. Dunbar. 2005. "Discrete hierarchical organization of social group sizes." *Proc. Royal Society B* 272:439-444.
- Zipf, George K. 1949. *Human Behavior and the Principle of Least Effort*. Hafner.